

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. Dezember 2003 (04.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/100875 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01L 39/24, H01B 12/08**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01558

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. Mai 2003 (14.05.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 23 542, 2 27. Mai 2002 (27.05.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).**

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LEGHISSA, Martino [DE/DE]; Regnitzstr. 30, 91301 Forchheim (DE).**

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).**

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechnung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR)
— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

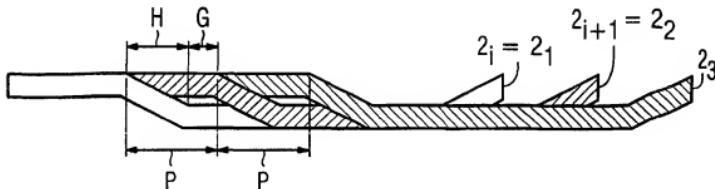
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING A FULLY TRANPOSED HIGH T_C COMPOSITE SUPERCONDUCTOR AND A SUPERCONDUCTOR PRODUCED BY SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES VOLLTRANSPONIERTEN HOCH-T_C-VERBUNDSUPRALEITERS SOWIE NACH DEM VERFAHREN HERGESTELLTER LEITER



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a fully transposed composite superconductor of the Roebel bar type, consisting of combined subconductors (2). According to the invention, the step for forming the subconductors, which are configured with a lateral projection (H) into a region of a neighbouring subconductor, is separated from the stranding step. Carrier strips, which are coated with the superconductive material, are used as the subconductors (2_j).

(57) Zusammenfassung: Mit dem Verfahren ist ein volltransponierter Verbundsupraleiter nach Art eines Röbelstabes aus zusammengefassten Teilleitern (2) herzustellen. Dabei soll der Verfahrensschritt der Formgebung der Teilleiter, bei denen ein seitlicher Überstieg (H) in einen Bereich eines benachbarten Teilleiters ausgebildet wird, von dem Verfahrensschritt eines Verseilens getrennt sein. Als Teilleiter (2) werden Trägerbänder vorgesehen, die mit dem Supraleitermaterial beschichtet sind.



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines volltransponierten Hoch-T_c-Verbundsupraleiters sowie nach dem Verfahren hergestellter Leiter

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines volltransponierten Verbundsupraleiters mit mindestens annähernd rechteckigem Querschnitt, der mehrere nach Art eines Röbelstabes zusammengefasste Teilleiter mit Hoch-T_c-Supraleitermaterial enthält, welche jeweils einen zumindest annähernd rechteckigen Querschnitt mit einer Breite B aufweisen. Bei dem Verfahren wird den Teilleitern eine Form mit einem in der Ebene der Breite B seitlichen Überstieg in einen Bereich eines benachbarten Teilleiters gegeben und werden die Teilleiter miteinander verseilt. Die Erfindung betrifft ferner einen nach diesem Verfahren hergestellten Leiter. Ein solcher Leiter und ein Verfahren zu seiner Herstellung gehen aus der WO 01/59909 A1 hervor.

Energietechnische Anwendungen von Hoch-T_c-Supraleitern (nachfolgend als HTS-Leiter bezeichnet), z.B. zur Realisierung von Transformator-, Maschinen- oder sonstigen Magnetwicklungen erfordern verlustarme Leiter mit Wechselstrom-Nennwerten bis in den Kiloampere-Bereich. Zur Verfügung stehen bisher jedoch nur HTS-Bandleiter geringen Querschnitts und mit Stromtragfähigkeitswerten von bis zu einigen 100 A_{eff} bei 77 K im magnetischen Eigenfeld. Zudem sind diese Bandleiter mechanisch sehr empfindlich, und deren elektrische Eigenschaften hängen stark vom Betrag und der Richtung des lokalen Magnetfeldes ab, in dem sie sich befinden.

Man sieht sich deshalb veranlasst, technisch einsetzbare Hochstrom-Supraleiter aus vielen einzelnen, parallelen Bandleitern in Form von sogenannten Verbundleitern z.B. gemäß der DE 27 36 157 B2 aufzubauen. Für Wechselstromanwendungen im Rahmen von Industriefrequenzen (im Allgemeinen bis 60 Hz)

müssen außerdem die nachfolgend als Teilleiter oder Einzelleiter bezeichneten Bandleiter solcher Verbundleiter gegenüber einander isoliert und systematisch transponiert bzw. verdrillt werden, um so eine gleichmäßige Stromverteilung im Gesamtquerschnitt und damit geringe Wechselstromverluste zu gewährleisten.

Entsprechende, auch als verselzte Leiter oder Kabelleiter bezeichnete transponierte Verbundleiter mit hoher Wechselstromtragfähigkeit sind prinzipiell bekannt. Sie können folgendermaßen ausgeführt sein:

- Als sogenannte „Leiterstäbe“, z.B. in Form von Röbel-, Schränk- oder Gitter-Stäben, mit Teilleitern aus Kupfer für z.B. große Wechselstrommaschinen,
- als sogenannte „Drill-Leiter“ mit Teilleitern aus Kupfer für Transformatoren oder Drosseln,
oder
- als sogenannte transponierte „Flach- oder Rundleiter“ mit Teilleitern aus metallischen Supraleitern wie z.B. NbTi in Cu (vgl. die genannte DE 27 36 157 B2).

Auch ein Transponieren von HTS-Leitern zur Erhöhung einer Wechselstromtragfähigkeit ist prinzipiell bekannt. Diesbezügliche konkrete Auslegungsbetrachtungen und Konstruktionshinweise beziehen sich

- auf ein kontinuierliches Transponieren von runden oder praktisch runden HTS-Leitern in Einfach- oder Mehrfachseilen (vgl. z.B. sogenanntes „Rutherford Cable“ in „IEEE Trans. Appl. Supercond.“, Vol. 7, No. 2, Juni 1997, Seiten 958 bis 961),
- auf ein Erreichen eines kontinuierlichen Transpositionseffektes in Energiekabeln durch Variation der Steigung verselzter, bandförmiger HTS-Teilleiter von Leiterschicht zu Leiterschicht (sogenanntes „Bitch Adjustment“; vgl. WO 96/39705),

und

- auf ein sogenanntes „In-situ-Transponieren, d.h. das schrittweise Transponieren während der Wicklungsherstellung direkt auf einem Wickelkörper, z.B. einer Transformatortwicklung (vgl. z.B. „IEEE Trans. Appl. Supercond.“, Vol. 7, No. 2, Juni 1997, Seiten 298 bis 301).

Eine mögliche Ausführungsform eines volltransponierten HTS-Verbundsupraleiters mit zumindest annähernd rechteckigem Querschnitt, der mehrere nach Art eine Röbelstabes zusammengefasste Teilleiter enthält, sowie eine Vorrichtung zu dessen Herstellung sind der eingangs genannten WO 01/59909 A1 zu entnehmen. Charakteristisch für diesen Verbundleiter ist eine seitliche Biegung seiner bandförmigen Teilleiter mit einem vorbestimmten Biegeradius und einer vorbestimmten Biegezonellänge. Die Herstellung der entsprechenden „Hochkants-Biegezonen“, in denen ein Übertritt in einen Bereich eines benachbarten Teilleiters erfolgt, wird dabei während des Prozesses der Verröbelung vorgenommen. Dieser Prozess erfordert gewisse Mindestgrößen bezüglich der Biegeradien und Biegezonen, nämlich für jeden Teilleiter einen Biegeradius R , der größer als die 100fache Breite B des Teilleiters ist, sowie eine Biege- oder Übertrittszonenlänge H , die größer als das 20fache der Breite B ist. Die Volltranspositionsgröße des bekannten HTS-Verbundleiters ist deshalb verhältnismäßig groß. Bevorzugt kommen für ihn bandförmige Teilleiter in Frage, die ein HTS-Material aus dem Stoffsysteem BiSrCaCuO enthalten. Entsprechende Teilleiter weisen im Allgemeinen in einer normalleitenden Matrix wie vorzugsweise aus Ag oder einer Ag-Legierung eingebettete Kerne aus diesem HTS-Material auf.

Neben solchen Ein- oder Mehrkern-(Teil)Leitern können entsprechende HTS-Leiter in Bandform auch durch ein ein- oder beidseitiges Beschichten eines bandförmigen Trägers mit einem HTS-Material erhalten werden (vgl. z.B. „Physica C“, Vol. 185 bis 189, 1991, Seiten 1959 bis 1960; „Appl. Phys. Lett.“, Vol. 65, No. 15, 10. Oktober 1994, Seiten 1961 bis 1963; „Appl. Phys. Lett.“, Vol. 71, No. 18, 3. November 1997, Sei-

ten 2695 bis 2697 oder WO 00/46863). Solche Leiter lassen sich jedoch nicht ohne weiteres für einen Aufbau gemäß dem des bekannten HTS-Verbundleiters verwenden, da dort wegen des Schrittes des Hochkantbiegens die Gefahr einer Beschädigung der auf dem Trägerband aufgebrachten HTS-Schicht besteht.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, das Verfahren mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszubilden, dass mit ihm auch volltransponierte HTS-Verbundleiter mit Teilleitern aus beschichteten Trägerbändern herzustellen sind.

Diese Aufgabe wird bezüglich des Herstellungsverfahrens mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Demgemäß ist bei dem Verfahren mit den eingangs genannten Merkmalen eine Trennung des Verfahrensschrittes der Formgebung der Teilleiter von dem Verfahrensschritt des Verseilens vorgesehen, wobei Teilleiter mit Trägerbändern vorgesehen werden, die mit dem supraleitenden Hoch-T_c-Material beschichtet sind.

Die mit dieser Ausgestaltung des Verfahrens verbundenen Vorteile sind darin zu sehen, dass der erwähnte Schritt des Hochkantbiegens des fertigen Supraleiters vermieden wird. Damit wird eine Verwendung von mit dem HTS-Material beschichteten Trägerbändern als Teilleiter ermöglicht, die wegen ihres speziellen Schichtaufbaus ein Hochkantbiegen nicht erlauben. Außerdem ist so eine Herstellung verhältnismäßig kurzer Überstiegsbereiche möglich, die folglich auch zu entsprechend kürzeren Volltranspositionslängen führen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens gehen aus den von Anspruch 1 abhängigen Verfahrensansprüchen hervor.

So kann insbesondere die Formgebung vor dem Schritt der Be- schichtung mit dem Supraleitermaterial, beispielsweise durch einen Biegeschritt bezüglich des Trägerbandes, oder durch

einen Schneideschritt bezüglich eines Vorkörpers des Trägerbandes, aus dem die gewünschte Form herausgeschnitten wird, vorgesehen werden.

Stattdessen kann die Formgebung auch mittels wenigstens eines Schneideschrittes bezüglich eines mit dem Supraleitermaterial bereits beschichteten Vorkörpers des Trägerbandes vorgenommen werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Verbundsupraleiters gehen aus Anspruch 6 und den von diesem Anspruch abhängigen Sachansprüchen hervor.

So kann vorteilhaft der Verbundsupraleiter durch die Beziehung $B < H < 20 \cdot B$ gekennzeichnet sein, wobei H die Ausdehnung des Überstiegsbereichs in Stromführungsrichtung des Verbundsupraleiters ist. Ein solcher Verbundsupraleiter zeichnet sich durch verhältnismäßig kurze Volltranspositionsängen mit kurzen Überstiegsbereichen seiner Teilleiter aus.

Prinzipiell ist es möglich, für den Aufbau des Verbundsupraleiters unterschiedliche Teilleiter, z.B. mit und ohne Supraleitermaterial, und/oder mit verschiedenem Querschnitt zu verwenden. Im Hinblick auf eine gleichmäßige Stromverteilung über den gesamten Verbundleiterquerschnitt ist es jedoch von Vorteil, wenn eine Zusammenfassung von Teilleitern mit gleichem Aufbau vorgesehen wird.

Für den Verbundsupraleiter kommen als Fixierungsmittel insbesondere Verklebungen oder Verlötzungen der Teilleiter in Frage. Vorzugsweise wird eine Bandagierung oder Umspinnung vorgesehen, um den Verbundsupraleiter eine hinreichende Flexibilität zu verleihen. Dabei kann im Hinblick auf eine eventuelle spätere Imprägnierung mit einem Kunstharz oder auf einen guten Kühlmittelzutritt die Bandagierung oder Umspinnung ins-

besondere entsprechend transparent oder saugfähig ausgeführt sein.

Im Hinblick auf eine Verringerung der Wechselstromverluste bei einem Einsatz des Verbundsupraleiters wird dieser vorteilhaft mit Teilleitern aufgebaut, von denen zumindest einige gegeneinander elektrisch isoliert sind.

Vorteilhaft wird für die Teilleiter des Verbundleiters als supraleitendes Hoch-T_c-Material ein Material aus der Familie (RE)M₂Cu₃O_x vorgesehen, wobei die Komponente RE wenigstens ein Seltenes Erdmetall (einschl. Yttrium) und die Komponente M wenigstens ein Erdalkalimetall enthalten. Insbesondere ist das Supraleitermaterial von Typ YBa₂Cu₃O_x. Schichten aus entsprechenden HTS-Materialien lassen sich nach bekannten Verfahren mit hoher Stromtragfähigkeit auf bekannten Trägerbändern abscheiden.

Erfnungsgemäß Verbundsupraleiter zeichnen sich deshalb vorteilhaft durch eine hohe Stromtragfähigkeit und eine großtechnische Herstellungsmöglichkeit hinsichtlich großer Leiterlängen aus. Sie sind insbesondere in einer energietechnischen Einrichtung mit Wechselstrombetrieb wie z.B. für Transformatoren, elektrische Maschinen oder Magnete zu verwenden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Herstellungsverfahren und des nach ihm hergestellten Verbundsupraleiters gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen Ansprüchen hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand eines aus der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispiels noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch deren Figur 1 einen für einen Verbundsupraleiter zu verwendenden Teilleiter,
deren Figur 2 die Formgebung eines einzelnen Teilleiters sowie

deren Figur 3 mehrere solcher Teilleiter nach Figur 2, wie sie für einen erfindungsgemäß hergestellten Verbundsupraleiter vorzusehen sind.

In den Figuren sind sich entsprechende Teile mit denselben Bezugssymbolen versehen.

Teilleiter, wie sie sich für erfindungsgemäß herzustellende Verbundsupraleiter verwenden lassen, sind allgemein bekannt. Gemäß der Schrägansicht der Figur 1 enthält ein entsprechender Teilleiter 2 ein Trägerband 3, das im Allgemeinen mit wenigstens einer Pufferschicht versehen ist. Auf dieser Pufferschicht ist eine Schicht 4 aus einem HTS-Material abgeschieden. Für diese Schicht kommen neben Materialien aus dem BiSrCaCuO-Stoffsysteem insbesondere Materialien der Familie $(RE)_2Cu_3O_x$ in Frage. Dabei soll die RE(Rare Earth)-Komponente wenigstens ein Selten-Erd-Element (unser Einschluss von Y) wie z.B. Y enthalten. Bei der M-Komponente handelt es sich um wenigstens ein Erdalkalielelement wie z.B. Ba. Hauptvertreter dieses Typs ist $YBa_2Cu_3O_x$ (mit $x = 7-\delta$, das sogenannte YBCO). Selbstverständlich kann mindestens eine der Komponenten dieses Material durch ein anderes aus der jeweiligen Gruppe zu- mindest teilweise ersetzt sein.

Als Material für das Trägerband 3 kommt beispielsweise Nickel (Ni) oder eine Ni-Legierung in Frage. Die Oberfläche des Trägers kann insbesondere biaxial texturiert sein. Entsprechende bandförmige Substrate sind unter der Bezeichnung „RABITS“ („Rolling-Asisted-Biaxially-Textured-Substrates“) bekannt (vgl. z.B. „Appl. Supercond.“, Vol. 4, Nos. 10-11, Seiten 403 bis 427).

Mit mehreren solcher, nach Art eines Röbelstabes zusammengefasster Teilleiter wird ein volltransponierter Verbundsupraleiter mit mindestens annähernd rechteckigem Querschnitt vorgesehen. Sein Aufbau entspricht im Wesentlichen dem des Verbundleiters, der aus der WO 01/59909 A1 zu entnehmen ist. In Anlehnung an die dort verwendete Bezeichnungsweise werden für

das Ausführungsbeispiel nach den Figuren 2 und 3 die folgenden Bezeichnungen gewählt:

H = Überstiegsbereiche (bzw. Hochkantbiegezone)

G = Gerade Zone ohne Überstieg

P = H + G = periodischer Überstiegsbereichsabstand

V = Volltranspositionsänge

B = Breite des Teilleiters

D = Dicke des Teilleiters

Vorzugsweise soll für die Länge der Überstiegsbereiche H folgender Zusammenhang gelten:

$B < H < 20 \cdot B$.

Für einen Verbundsupraleiter mit einer Teilleiterzahl N soll außerdem folgender Zusammenhang gelten:

$V = N \cdot B$

Zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Verbundleiters wird der Prozess der Formgebung der Überstiegsbereiche H (z.B. durch Biegen oder Schneiden) sowie des Zusammenfassens (bzw. Verseilens) der Teilleiter 2_i (mit $i = 1 \dots$ bis N) getrennt, wobei die nachfolgenden beiden Varianten a) und b) möglich sind:

- a) Die Formgebung der Überstiegsbereiche geschieht durch Biegen oder Schneiden des Trägerbandes aus einem größeren Körper wie z.B. Blech vor einem Beschichten mit dem HTS-Material;
- b) die Formgebung der Überstiegsbereiche geschieht durch Schneiden eines Bandes bzw. Vorkörpers nach dem Beschichten mit dem HTS-Material. Unter einem Vorkörper sei hierbei ein gegenüber der Breite B breiterer Körper verstanden, aus dem zumindest ein Teilleiter herausschneidbar ist.

Herstellung nach Variante a)

- 1) Schneiden oder Biegen eines gegebenenfalls vorbehandelten Trägerbandes (z.B. Edelstahlbänder oder walztexturierte Metallbänder wie z.B. RABITS-Bänder aus Nickellegierungen) entsprechend der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform mit Überstiegszonen H und geraden Zonen G
- 2) Aufbringen einer oder mehrerer geeigneter Pufferschichten (z.B. aus YSZ, CeO₂, MgO)
- 3) Aufbringen einer Schicht des HTS-Materials YBCO (oder eines verwandten HTS-Materials der „123“-Materialfamilie (RE)_{1-x}M_xCu₃O_x)
- 4) Gegebenenfalls Aufbringen metallischer Deckschichten oder metallischer Umhüllungen
- 5) Gegebenenfalls Ummanteln mit einer Isolationsschicht
- 6) Zusammenfassung von N solcher Teilleiter zu einem voll transponierten Verbundleiter, wobei jeweils benachbarte Teilleiter z_i , z_{i+1} um einen periodischen Überstiegsbereichsabstand P gegeneinander versetzt werden
- 7) Gegebenenfalls Anbringen einer Bandage oder Ummantelung des gesamten Verbundleiters.

Herstellung nach Variante b)

- 1) Schneiden eines Bandleiters mit einem Supraleitermaterial wie YBCO (oder eines verwandten HTS-Materials der „123“-Materialfamilie) entsprechend der in Figur 1 gezeigten Ausformung mit Überstiegsbereichen H und geraden Zonen G aus einem größeren, beschichteten Körper
- 2) Gegebenenfalls Ummanteln mit einer Isolationsschicht
- 3) Zusammenfassung von N solcher Teilleiter zu einem voll transponierten Verbundleiter, wobei jeweils benachbarte Teilleiter um einen periodischen Überstiegsbereichsabstand P gegeneinander versetzt werden
- 4) Gegebenenfalls Anbringen einer Bandage oder Ummantelung des gesamten Verbundleiters.

Gemäß einem konkreten Ausführungsbeispiel sind als typische geometrische Größen gewählt:

10

Breite der Teilleiter B = 1 mm10 mm

Dicke der Teilleiter D = 0,02 mm0,5 mm

Strom pro Teilleiter (bei 77 K, ohne äußeres Magnetfeld)

$I_{TL} = 10 \text{ A} \dots 1000 \text{ A}$

Die Anzahl der Teilleiter N richtet sich nach dem gewünschten

Gesamtstrom I_{ges} mit $N = I_{ges}/I_{TL}$.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines volltransponierten Verbundsupraleiters mit mindestens annähernd rechteckigem Querschnitt, der mehrere nach Art eine Röbelstabes zusammengefasste Teilleiter mit Hoch-T_c-Supraleitermaterial enthält, welche jeweils zumindest annähernd rechteckigen Querschnitt mit einer Breite B aufweisen, bei welchem Verfahren den Teilleitern eine Form mit einem in der Ebene der Breite B seitlichen Überstieg in einen Bereich eines benachbarten Teilleiters gegeben wird und die Teilleiter miteinander verseilt werden, gekennzeichnet durch eine Trennung des Verfahrensschritts der Formgebung der Teilleiter (2; 2₁) von dem Verfahrensschritt des Verseilens, wobei Teilleiter (2; 2₁) mit Trägerbändern (3) vorgesehen werden, die mit dem supraleitenden Hoch-T_c-Material beschichtet sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Formgebung vor dem Schritt der Beschichtung mit dem Supraleitermaterial erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Formgebung wenigstens einen Biegeschritt bezüglich des Trägerbandes (3) umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Formgebung wenigstens einen Schneideschritt bezüglich eines Vorkörpers des Trägerbandes umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Formgebung mittels wenigstens eines Schneideschrittes bezüglich eines mit dem Supraleitermaterial (4) bereits beschichteten Vorkörpers des Trägerbandes erfolgt.

6. Verbundsupraleiter, hergestellt nach dem Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Beziehung
 $B < H < 20 \cdot B$, wobei H die Ausdehnung des Überstiegs in Stromführungsrichtung des Verbundsupraleiters ist.

7. Leiter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass für seine Teilleiter (2, 2₁) jeweils ein Trägerband (3) aus einem Stahl- oder einer Ni-Legierung vorgesehen ist.

8. Verbundsupraleiter nach Anspruch 6 oder 7, gekennzeichnet durch Fixierungsmittel in Form von Verklebungen oder Verlötzungen der Teilleiter (2₁) untereinander oder vorzugsweise durch eine Bandagierung oder Umspinnung.

9. Verbundsupraleiter nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch eine für ein Imprägniermittel oder ein Kühlmittel durchlässige oder saugfähige Bandagierung oder Umspinnung.

10. Verbundsupraleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einige seiner Teilleiter (2₁) gegenseitig elektrisch isoliert sind.

11. Verbundsupraleiter nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass als supraleitendes Hoch-T_c-Material ein Material aus der Familie (RE)₂Cu₃O_x vorgesehen ist, wobei die Komponente RE wenigstens ein Seltenes Erdmetall (einschl. Yttrium) und die Komponente M wenigstens ein Erdalkalimetall enthalten.

12. Verbundsupraleiter nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Supraleitermaterial vom Typ YBa₂Cu₃O_x ist.

1/1

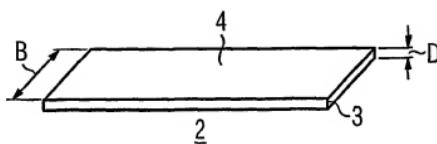


FIG 1

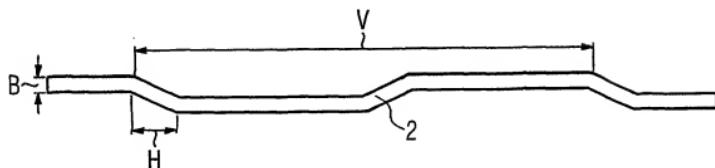


FIG 2

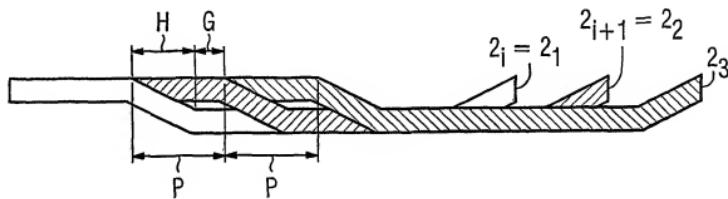


FIG 3